

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Účinnost filtračních elementů**

***Efficiency of Filter Elements***

Jméno a příjmení studenta: Petr Kadlček

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.

Ostrava 2012

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Kadlček**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: Účinnost filtračních elementů  
Efficiency of Filter Elements

Zásady pro vypracování:

Stanovte účinnost filtrace vybraných typů filtračních elementů v závislosti na době provozu a stupni znečištění filtrované kapaliny.

Vypracujte:

1. Metodiku stanovení čistoty hydraulických olejů podle dostupných norem a podkladů.
2. Na základě zvolené metodiky navrhnete testovací zařízení pro stanovení účinnosti vybraných typů filtračních elementů.
3. Zvolte testovací olej a pro různý stupeň jeho znečištění stanovte na testovacím zařízení účinnost vybraných typů filtračních elementů.
4. V závěru zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 2. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
2. PAVLOK, B.; SIVÁK, V. *Hydraulické systémy v provozní praxi*. Ostrava: VŠB Ostrava+BIC Ostrava, 2000. 95 s. (Skripta pro specializační kurz).
3. SCHMITT, A. a kolektiv. *Příručka hydrauliky*. Svazek 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1981. 226 s. ISBN 3-8023-0619-8.
4. FINDEISEN, D. *Ölhydraulik*. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 1996. ISBN 3 978-3-23880-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



---

prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
21.5.2012

.....  


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 21.5.2012

.....  
.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Kadlček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sadová 972  
687 51 Nivnice

### **Anotace bakalářské práce**

KADLČEK, P. *Účinnost filtračních elementů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 50 s. Vedoucí práce: Pavlok, B.

Bakalářská práce je zaměřena na hodnocení účinnosti filtračních vložek a čistotě hydraulické kapaliny. Úkolem této práce, je stanovit čistotu kapaliny dle normy NAS 1638 a určit účinnost filtrace jednotlivých filtrů poskytnutých firmou Filtraton Technology s.r.o. čistota oleje byla zjišťována pomocí laserového čítače částic CM20.2021 a PODS. Od firem PARKER a HIAC. Dále byl detailně popsán vznik a působení nečistot v hydraulických obvodech.

### **Anotation of Bachelor Thesis**

KADLČEK, P. *Efficiency of Filter Elements: \_Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2012, 50 p. Thesis head: Pavlok, B.

The thesis is focused on evaluate the effectiveness of filter elements and clean hydraulic fluid. The object of this thesis is to establish the purity of the liquid according to NAS 1638 and to determine the filtration efficiency of filters provided by individual Filtraton Technology Ltd. purity of the oil was determined by laser particle counters CM20.2021 and PODS. From company PARKER and HIAC. It was also described in detail the formation and effect of impurities in the hydraulic circuits.

# Obsah

<b>Seznam použitého značení.....</b>	<b>3</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Přehled současného stavu řešené problematiky .....</b>	<b>5</b>
1.1 Metody stanovení čistoty pracovní kapaliny.....	5
1.1.1 Kód čistoty hydraulické kapaliny .....	5
1.1.2 Určení kódu čistoty .....	6
1.2 Postupy zjištění kódu čistoty.....	9
1.3 Nečistoty v hydraulických obvodech jejich vznik a působení .....	12
1.3.1 Vliv znečištění pevnými látkami: .....	12
1.3.2 Účinky nečistot .....	13
1.3.3 Působení nečistot a jejich velikost .....	19
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>21</b>
<b>3 Metody hodnocení účinnosti filtračních elementů.....</b>	<b>22</b>
3.1 Výpočet filtrační účinnosti a filtračního koeficientu .....	22
3.2 Určování účinnosti filtrace .....	23
<b>4 Volba hydraulické kapaliny a její znečištění .....</b>	<b>25</b>
<b>5 Návrh a schéma testovacího zařízení.....</b>	<b>27</b>
5.1 Popis a schéma testovacího zařízení .....	27
5.2 Popis měřících přístrojů .....	29
5.2.1 Specifikace měřícího přístroje CM20.2021 .....	29
5.3 Popis měřícího přístroje HIAC PODS .....	36
<b>6 Vyhodnocení třídy čistoty kapaliny a účinnosti filtračních vložek na testovacím zařízení.....</b>	<b>37</b>
6.1 Popis parametrů a průběhu testu .....	37
6.2 Vyhodnocení výsledků.....	40
6.2.1 Test vložky 4. (1121 g).....	40
6.2.2 Test vložky 5. (945 g).....	41

6.2.3	Výpočet účinnosti: .....	43
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>49</b>



## Seznam použitého značení

Značka	Název	Rozměr
$\eta_x$	Filtrační účinnost	[1]
$\beta_x$	Filtrační koeficient	[1]
$N1$	Počet větších částic než daný rozměr x před filtrem	[1]
$N2$	Počet větších částic než daný rozměr x za filtrem	[1]
$\nu$	Kinematická viskozita	[mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\rho$	Hustota oleje	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$p$	Tlak před filtrační vložkou	[MPa]
$t$	Teplota pracovní kapaliny	[°C]
$P$	Výkon elektromotoru	[kW]
$n$	Otáčky elektromotoru	[min <sup>-1</sup> ]
$D$	Průměr filtrační vložky	[mm]
$h$	Výška filtrační vložky	[mm]
$p$	Maximální tlak hydrogenerátoru	[MPa]
$T$	Měřicí interval	[s]
$Q_v$	Průtok hydrogenerátorem	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$m$	Hmotnost filtrační vložky	[kg]

## Úvod

Filtrace kapaliny je velmi důležitá pro správné fungování hydraulického zařízení. Hydraulické kapaliny, jsou vždy znečištěny pevnými látkami. Toto znečištění má za následek poruchy, prostoje stroje a může vést až k úplné destrukci části nebo celého hydraulického zařízení. Proto se musí strojní součásti udržovat ve funkčním stavu, dbát na správnou funkci a plánovat opravy hydraulického zařízení. Jakož i výměny prvků, které se často opotřebovávají. Z toho vyplývá správná volba filtru, který jímá požadovanou velikost nečistot a návrh jeho velikosti, materiálu a umístění v hydraulickém obvodu.

Filtrace hydraulických kapalin není jenom pročišťování kapaliny od mechanických nečistot, ať už tvrdých jako je kovový otěr a různé prachové částice, nebo měkkých jako jsou různé pryskyřice, parafíny a vlákna, ale také oddělení vysrážené vody, která v obvodu vzniká kondenzací vodních par na stěnách nádrže. U olejových emulzí se filtrují i mikroorganismy, které zapříčiňují degradaci kapaliny.

Filtr v hydraulickém obvodu je velmi důležitá součást, která chrání obvod před zbytečným opotřebováváním a destrukcí pohyblivých částí obvodu a vydíráním těsnících elementů. Vložka filtru může být složena z různého materiálu, od železných sít přes slinuté kuličky kovů, až po umělá vlákna a filtrační papír. Každý z těchto materiálů vykazuje jiné vlastnosti, při filtraci a snáší rozdílné tlaky, proto taky rozdělujeme filtry do několika skupin.

# 1 Přehled současného stavu řešené problematiky

## 1.1 Metody stanovení čistoty pracovní kapaliny

### Pro stanovení čistoty oleje existuje 5 klasifikačních systémů:

- SAE 749 D
- ISO DIS 4406
- NAS 1638
- MIL STD 1246 A

Tyto systémy udávají kolik částic jisté velikosti je ve 100 cm<sup>3</sup> sledované kapaliny. Pro zařazení do určité třídy znečištění je nutné určit velikost a počet pevných částic. To lze určit pomocí čítače částic nebo mikroskopu.

Moje práce se zabývá jenom určováním obsahu mechanických nečistot, který se nazývá kód čistoty.

### 1.1.1 Kód čistoty hydraulické kapaliny

Kód čistoty nelze použít při zjišťování materiálů, nečistot udává nám pouze velikost a četnost nečistot, kterou dále posuzujeme podle námi zvolené normy. Ke změření kódu čistoty se v dnešní době používá především laserových čítačů částic, dříve se kód čistoty určoval optickou mikroskopií, ale používají se i jiné metody.

### ISO 4406

Pro čistotu pracovních kapalin existuje více kvalifikačních systémů, nejpoužívanější normy jsou ISO 4406 (pro české normy jsou to ČSN 656206) nebo popřípadě americké normy NAS 1638. Znečištění kapaliny u starší normy ISO 4406:1989 se vyjadřuje dvěma číselnými hodnotami oddělenými lomítkem, kde první číslo udává počet částic větší než 5 μm, a druhé větších než 15 μm (např.15/12) na 100 ml testovací kapaliny. Dle nové normy ISO 4406:1999 se znečištění kapaliny udává třemi čísly oddělenými lomítkem (např.20/18/15), ale jen v případě laserového čítače částic a to v rozměru 4μm, 6 μm a 14 μm. Ve třídě ISO 4406 se počet částic udává na 1ml kapaliny.

**NAS 1638**

Norma NAS 1638 udává znečištění kapaliny v jedné ze 14 tříd na 100 ml kapaliny a to vždy v daném rozmezí podle velikosti částic a znečištění. (např. 5 - 15  $\mu\text{m}$ , 15 - 25  $\mu\text{m}$  atd.) po sečtení nečistot a jejich rozdělení do velikostních tříd (u laserového čítače velikosti rozčleňujeme podle ekvivalentní kruhové oblasti) se podle normy NAS 1638 vybere největší znečištění podle velikostní třídy a přiřadí se mu číselná hodnota dle této normy.

**SAE 749 D**

Třída znečištění dle SAE 749 D se téměř nepoužívá. Jelikož má malý počet stupňů a to od 9 částic/ $\text{cm}^3$  do 580 částic/ $\text{cm}^3$ .

**MIL STD 1246 A**

Tato norma se příliš nepoužívá jen ve zvláštních případech. Pro průmysl nemá praktický význam.

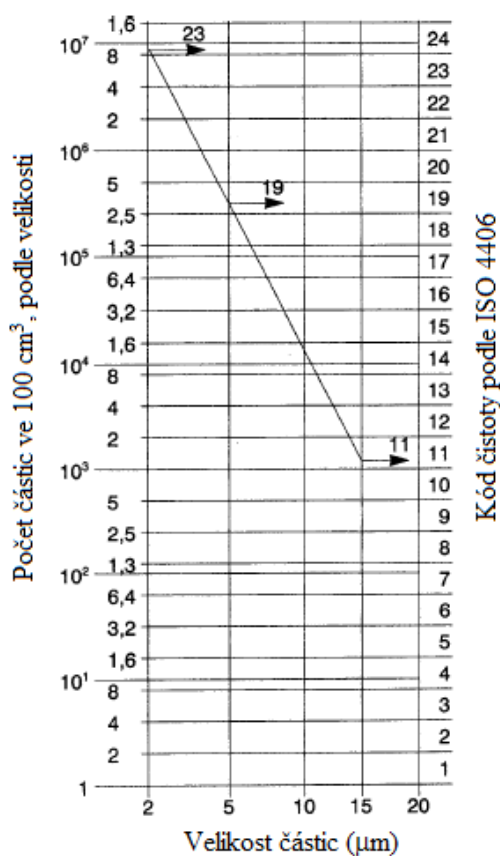
**1.1.2 Určení kódu čistoty**

ISO DIS 4406	částice >10 mm v 1 $\text{cm}^3$	MIL STD 1246 A	NAS 1638	SAE 749 D
20/17	2300		11	
20/16	1400			
19/16	1200		10	
18/15	580		9	6
17/14	280	300	8	5
16/13	140		7	4
15/12	70		6	3
14/12	40	200		
14/11	25		5	2
13/10	14		4	1
12/9	9		3	0
18/8	5		2	
10/8	3	100		

Tab. 1 Třídy čistoty dle různých klasifikací. [6]

	2-5 $\mu\text{m}$	5-15 $\mu\text{m}$	15-25 $\mu\text{m}$	25-50 $\mu\text{m}$	50-100 $\mu\text{m}$	>100 $\mu\text{m}$
00	625	125	22	4	1	0
0	1250	250	44	8	2	0
1	2500	500	89	16	3	1
2	5000	1000	178	32	6	1
3	10000	2000	356	63	11	2
4	20000	4000	712	126	22	4
5	40000	8000	1425	253	45	8
6	80000	16000	2850	506	90	16
7	160000	32000	5700	1012	180	32
8	320000	64000	11400	2025	360	64
9	640000	128000	22800	4050	720	128
10	1280000	256000	45600	8100	1440	256
11	2560000	512000	91200	16200	2880	512
12	5120000	1024000	182400	32400	5760	1024

Tab. 2 Klasifikace třídy čistoty podle NAS 1638 Maximální počet částic ve 100 cm<sup>3</sup> kapaliny. [6]



Obr. 1 Klasifikace třídy čistoty podle ISO 4406. [6]

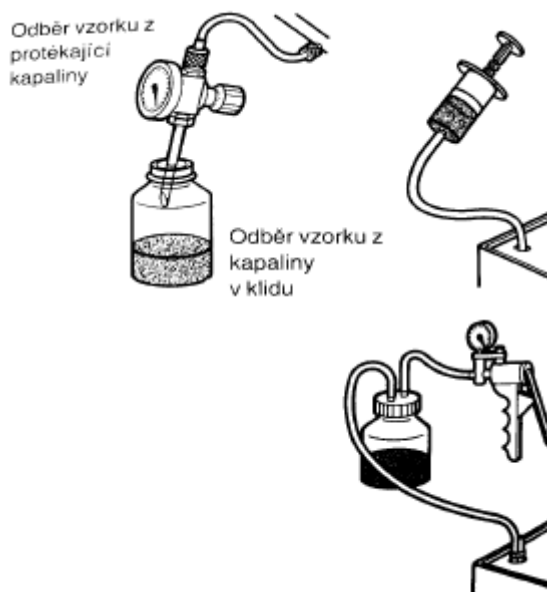
### **Zásady odběr vzorku**

Analýzou kapaliny, kterou odebereme, ze systému se určuje její znečištění. Touto analýzou se určují faktory:

- Účinek filtrační vložky.
- Dobu promývání při uvedení systému do provozu.
- Lze určit dobu životnosti stroje porovnáním výsledků zkoušek.
- Částice, které kapalina obsahuje.

### **Druh odběru:**

- Statická zkouška – odběr kapaliny za klidu (z nádrže)
- Dynamická zkouška – odběr vzorku z tekoucího proudu kapaliny (odtok do nádrže)
- Odběr vzorku v místě s turbulentním prouděním



Obr. 2 Odběr vzorku kapaliny. [7]

### **Provedení odběru:**

- Zařízení pro odběr musí být v čistém stavu.
- Vzorkovnice pro odběr musí být čistá.
- Jestliže je vzorkovnice znečištěna předchozím vzorkem. Pak tato vzorkovnice musí být propláchnuta odmašťovadlem a zbavena všech nečistot.

- Odběrové zařízení se musí, při odběru propláchnout minimálně 2 dm<sup>3</sup> odebírané kapaliny a po té se do ní nabere vzorek.
- Nulová zkouška – slouží nám pouze jako vizuální posouzení znečištění.

### **Vyhodnocení zkoušky:**

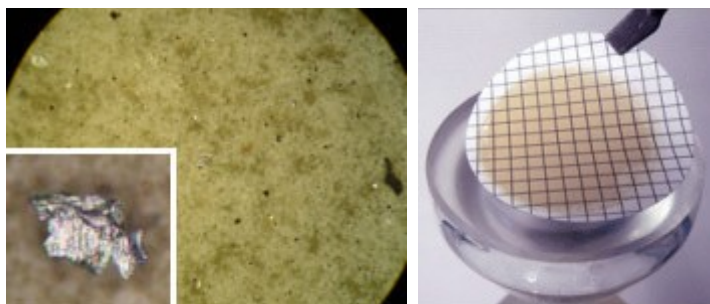
Pro zhodnocení zkoušky se dnes již většinou používají čítače částic a to buď světelné, nebo laserové. Tyto čítače nám dávají jasné výsledky testu kapaliny podle námi zvolené normy (většinou požadujeme ISO 4406 nebo NAS 1648). Pokud, ale pracoviště nemá k dispozici čítač částic, využívá se kontrolní monitory (etalony). Tyto monitory, jsou snímky různého znečištění testovacího filtračního papíru, ke kterému je připsáno číslo znečištění (většinou se používá norma NAS). Takto určené znečištění nemusí souhlasit s výsledky z čítače částic. Proto je často vhodnější přivolat k hydraulickému zařízení odborníka s laboratorním vozem, který nám provede analýzu vzorku.[7]

## **1.2 Postupy zjištění kódu čistoty**

### **Optická mikroskopie (ISO 4407):**

Částice jsou počítány „manuálně“ v zorném poli mikroskopu na membráně, která je rozdělena rastrem na stejná políčka čtvercového tvaru. Ačkoliv by se mohlo zdát, že tato metoda je překonaná, pomalá a nepohodlná, stále je používána a mnohými je považována za nejspolehlivější a nejpřesnější metodu počítání částic, která není ovlivněna některými omezeními moderních automatických metod. Bohužel tato metoda nejen, že je zdoluhavá, ale je tu kladen velký důraz na proškolení pracovníka, který provádí optickou mikroskopii.

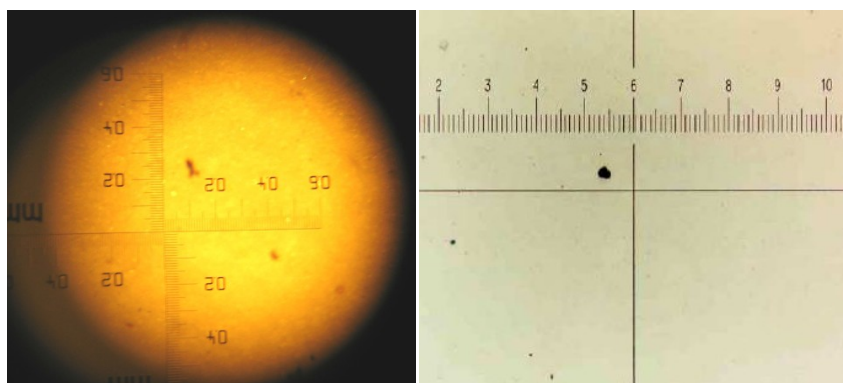
Membrána je tvořena filtračním papírkem, který je schopen odfiltrvat všechny nečistoty až do velikosti 0,8 μm. Pomocí vakuové pumpy se určené množství hydraulického oleje (většinou 100 ml) přefiltruje přes membránu. Následně se membrána poleje technickým benzínem a opatrně sejme, vysuší se při teplotě 105 °C. Po vložení membrány pod mikroskop vynikne rastrování na membráně. Počítáme nečistoty na ploše udané normou a po té použijeme statistické metody pro určení nečistot v kapalině. Lze využít i dodávaných etalonů a porovnávat míru znečištění filtračního papíru s tímto etalonem.



Obr. 3 Filtrační membrána a přiblížení jedné z nečistot.[11]



Obr. 4 Sada pro analýzu optickou mikroskopií.[11]



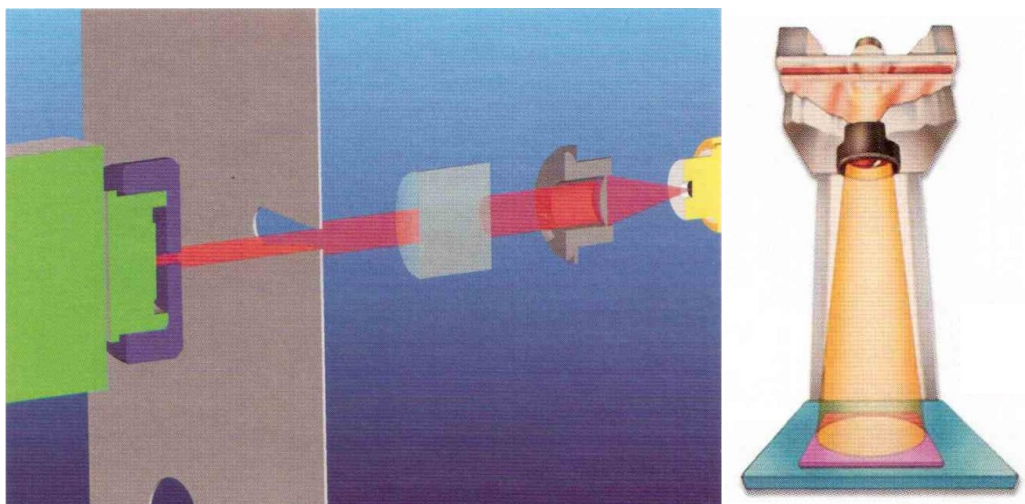
Obr. 5 Pohled pod mikroskopem na filtrační disk a jeho porovnání s fotografií etalonu.[11]

### **Automatický čítač částic (ISO 115007):**

Dále AČČ. Nejpoužívanější jsou dva principy - přístroje s bílým světlem, které na senzoru zastíňují procházející částice, a laserové přístroje, kde procházející částice rozptyluje paprsek laseru. Přístroje s laserem jsou považovány za citlivější a daleko přesnější. Právě problémy AČČ s počítáním částic, které mají dva hodně odlišné rozměry (např. 6  $\mu\text{m}$  na šířku a 50  $\mu\text{m}$  na délku) způsobily revizi kódovacího systému čistoty

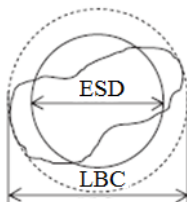


kapalin. Přijatelný kompromis řešící tyto problémy byl přijat jako počítaný rozměr částice tzv. „průměr ekvivalentní kulové částice“ (Equivalent Spherical Diameter). Ani zavedení tohoto kompromisu neodstraní některé falešné odezvy způsobené překrýváním částic nebo počítáním vločkujících přísad. Proto je nutné velmi striktně dodržovat postupy měření.



Obr 6 Princip funkce laserů a prosvěcování bílým světlem. [17]

Ekvivalentní kruhová plocha je oprava, kterou řídí software daného čítače částic. Je řízena jak specifickou velikostí částice tak i její propustnost světlem.



Obr 7 Princip měření laserového čítače částic. [11]

*ESD (Equivalent Spherical Diameter) – průměr kruhu o stejné ploše jako má částice,  
LBC (Least Bounding Circle) – průměr nejmenší opsané kružnice,*

### **„Blokace pórů“ (BS 3406):**

Vzorek prochází sítky (membránami) s přesně definovanou velikostí oka (póru), nejčastěji 10  $\mu\text{m}$ . Také zde existují dva principy. V prvním případě přístroj měří pokles průtoku s narůstajícím zanesením membrány, zatímco tlak zůstává konstantní. Membrána je nejdříve zanášena částicemi 10  $\mu\text{m}$  a většími, poté při určitém stupni ucpání pórů i menšími částicemi. Ve druhém případě se měří zvyšování tlakového rozdílu na membráně, zatímco průtok zůstává konstantní. Pro oba případy se pak používá software, který z

časové závislosti poklesu průtoku nebo zvýšení tlaku počítá kódy čistoty podle ISO 4406. Tyto přístroje nemají problémy se vzduchem a vodou v oleji ani s příliš tmavými oleji. Jsou ovšem velmi závislé na přesnosti programu, který vypočítává kódy čistoty, neboť distribuce velikostí částic je vlastně odhadována. Získáme s nimi přesnou představu o celkové koncentraci částic.[2]

### 1.3 Nečistoty v hydraulických obvodech jejich vznik a působení

#### 1.3.1 Vliv znečištění pevnými látkami:

Přítomnost pevných látek vede ke zvýšení opotřebení tzn. uvolňují další pevné částice a tímto způsobem opotřebovávají obvod a všechny mechanické části což vede k menší životnosti celého stroje. Nečistoty se dělí na tvrdé nečistoty a měkké nečistoty popřípadě podle poškození, které nečistota způsobuje u funkčních částí obvodu.

Materiál	Účinek (poškození)
Keramické a minerální materiály, slnuté karbidy, kysličník železa (rez)	Velmi silné
Ocel, mosaz, bronz, hliník a jiné kovy	Silné
Textilní a umělá vlákna, zbytky ochranného nátěru, otěr z těsnění, částice z pryžových hadic, částice vzniklé oxidací pracovního média	Slabé

Tab. 3 Účinek částic na plochách štěrbin. [7]

Obecně lze konstatovat, že všechny nečistoty způsobují opotřebení všech hydraulických prvků. Velikost opotřebení je závislá na parametrech:

- Materiál pevných částic.
- Velikost pevných částic.
- Poměr velikosti pevných částic vůči vřím, nebo zúženým průtočným průřezům.
- Tvar pevných částic.
- Pracovní tlak.
- Průtočná rychlost.

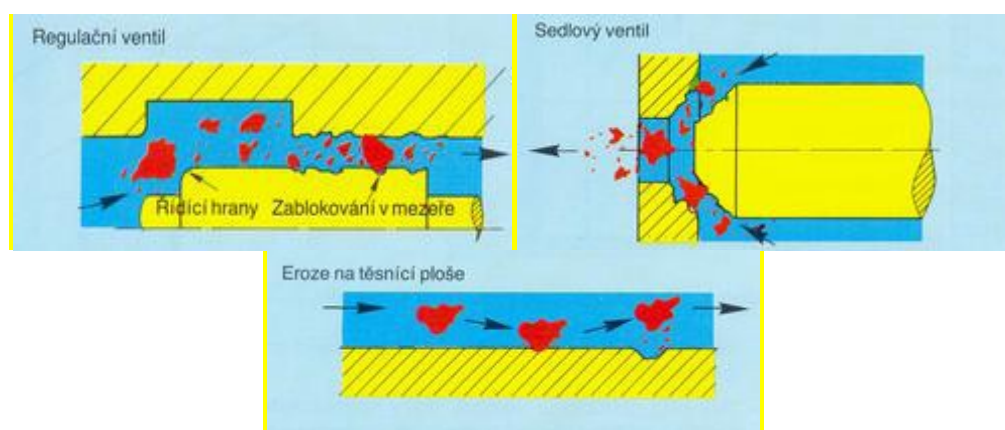
Již malé počty pevných částic v pracovní kapalině mohou vést k velkému narušení povrchu. K intenzivnějšímu opotřebení dochází při vyšším pracovním tlaku. To je důsledek větší kinetické energie částic, které jsou urychlovány tlakovým spádem. [7]

### 1.3.2 Účinky nečistot

Měkké nečistoty způsobují v hydraulických obvodech hlavně stárnutí kapaliny a její postupnou degradaci, která je vidět hlavně zabarvením kapaliny. Měkká znečištění způsobují nepřesný chod ventilů a dalších částí systému. Nejnebezpečnější jsou hrubé nečistoty (eroze, abraze, zanášení mezer a s tím spojené náhlé poruchy). Jemné nečistoty jsou rovněž nebezpečné (eroze, stárnutí kapaliny). Za hrubé nečistoty se považují částice větší jak 20  $\mu\text{m}$ , za jemné částice velikosti (5 až 15)  $\mu\text{m}$ .

Tvrdé nečistoty zapříčiňují při větších rozměrech zrn ucpání funkčních mezer, a abrazivní působení na plochy kluzných dvojic. Nejmenší nečistoty nám v obvodu zapříčiňují erozivní opotřebení ostrých hran šoupátek a jiných pohybujících se součástí.

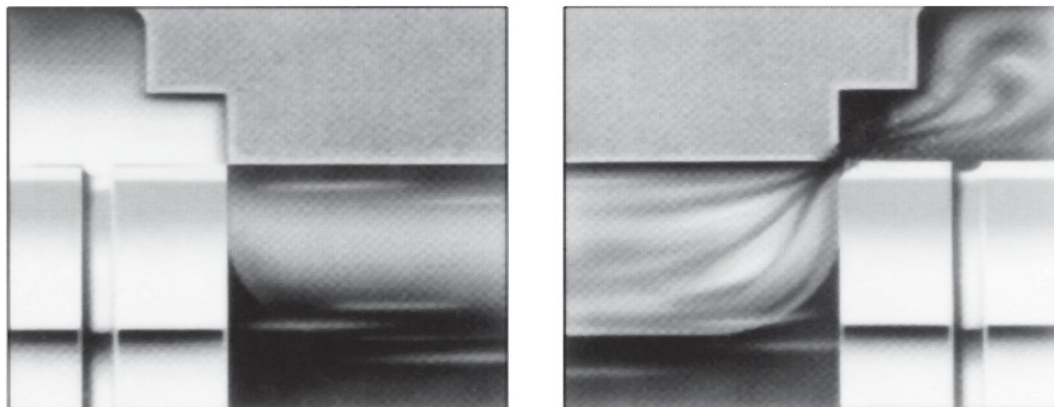
Pro hydraulický obvod jsou nejnebezpečnější tvrdé nečistoty, přičemž závisí na relativní velikosti zrn a velikosti funkčních mezer v obvodu. Tyto nečistoty jsou způsobeny kovovým otěrem funkčních ploch v prvcích obvodu. Eroze a abraze v obvodě vzniká vždy. Nikdy se neobjevuje pouze eroze nebo abraze, vždy se objevují současně s různým procentuálním podílem, který závisí na velikosti a hustotě zastoupených částic v hydraulickém obvodě.



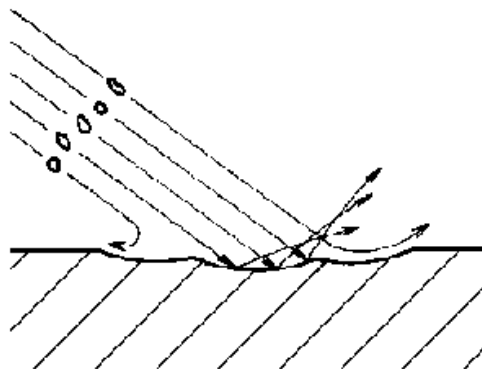
Obr. 8 Opotřebení povrchu v důsledku pevných látek v médiu. [7]

### **Eroze:**

Proudem unášené malé nečistoty (2-10 $\mu$ m), které ohlazují ostré hrany funkčních prvků. K intenzivnějšímu opotřebení dochází při vyšším pracovním tlaku. To je důsledek kinetické energie částí, které jsou urychlovány tlakovým spádem. Způsobují změny rozměrů a nárůst průsaků. Působením eroze se generují další částice, které přispívají k rychlejšímu opotřebení, poruchám a zkrácení životnosti.



Obr. 9 Omílání funkční hrany součásti.[2]



Obr. 10 Ukázka erozivního mechanismu a eroze na těle kulového ventilu.[10]

### **Abraze:**

Objevuje se mezi plochami kluzných dvojic, kde způsobuje rýhy a důsledkem tohoto opotřebení je opět změna rozměrů, pokles účinnosti a produkce dalších nečistot (především kovový ořet). Tyto nečistoty mají velikost blížíci se velikosti vůli kluzných dvojic (tzn. 10

– 20  $\mu\text{m}$ ). Nečistoty jsou tvrdší než materiál kluzných dvojic, ale mohou to být i nerovnosti na plochách kluzných dvojic způsobené výrobou (toto se projevuje u nových strojů).

### **Vliv množství**

Je-li částic hodně, dochází k jejich shlukování či vrstvení a tím k abrazivnímu opotřebení i v případě, že většina částic má menší velikost než je vůle mezi povrchy. Je také větší pravděpodobnost, že se bude vyskytovat větší množství částic takového tvaru, který je z hlediska abrazivního opotřebení nepříznivý (tj. ostrohranných) a že jich bude větší množství v takové poloze, kdy mohou intenzivněji opotřebovávat povrch součástí.

### **Vliv tvaru**

U abrazivních částic je velmi výrazný. Ostrohranné částice budou působit mnohem intenzivněji než částice zaoblené.

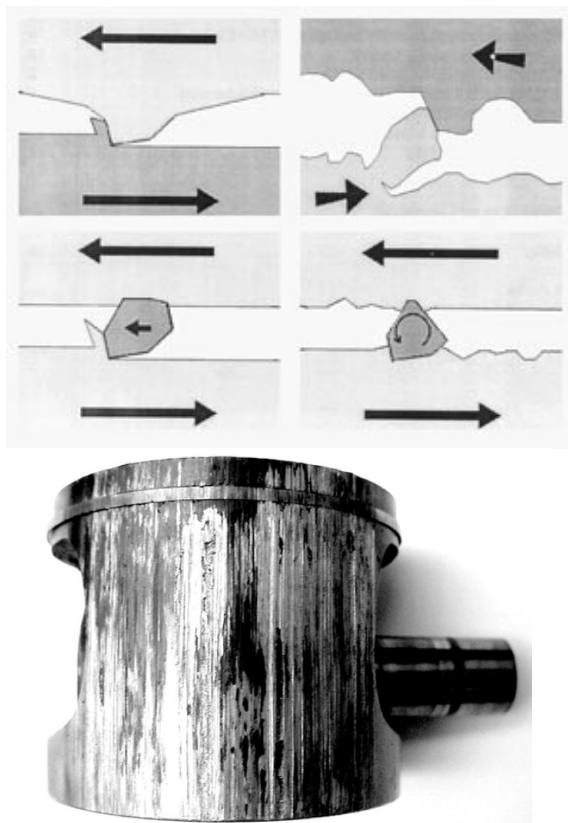
Je zřejmé, že hloubka vnikání částice do povrchu součásti bude záležet kromě tvaru také na síle, působící na částice v normálovém směru. Působit bude zcela určitě také případné převrácení částice, které bude ovlivněno v případě abraze mazaných povrchů také poměry proudění v mazací vrstvě.

### **Vliv velikosti**

V případě, kdy jsou abrazivní částice volné mezi dvěma povrchy, dochází k abrazivnímu opotřebení jen těmi částicemi, které jsou větší než vůle mezi oběma povrchy, popř. než tloušťka mazacího filmu. U těchto částic nadkritické velikosti pak přítomnost mazacího filmu nemá prakticky žádný vliv na výskyt abrazivního opotřebení. *Z toho vyplývá například požadavek na filtrační schopnost filtrů v mazacím či hydraulickém okruhu.*

### **Vliv tvrdosti**

Čím jsou abrazivní částice tvrdší než opotřebovávaný povrch, tím snáze do něj vnikají a tím je intenzita opotřebení větší. A naopak. *Tím lze také odůvodnit a vysvětlit běžnou snahu konstruktérů a technologů dosáhnout co možno nejtvrdějších povrchových vrstev u těch součástí, kde lze očekávat abrazivní opotřebení.* [10]

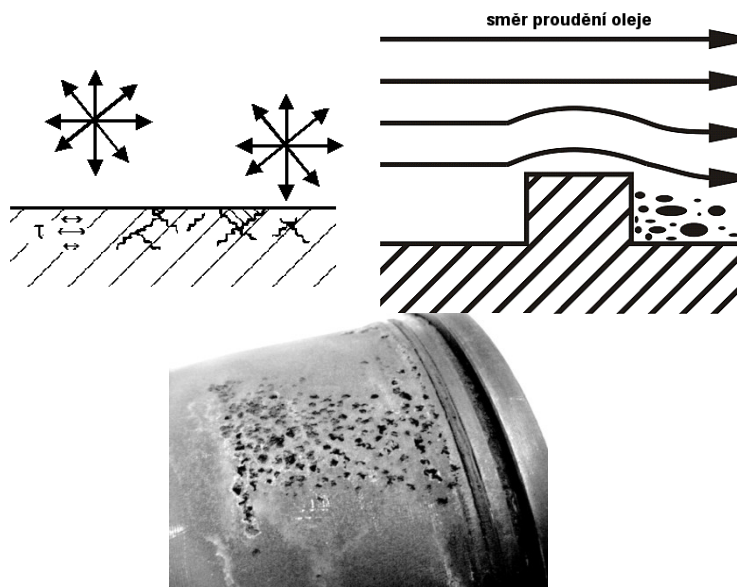


Obr. 11 Mechanizmy abrazivního opotřebení a abraze na pístu  
spalovacího motoru.[10]

### **Kavitace:**

Kavitaci nezpůsobují nečistoty, ale sama je zdrojem nečistot a degradaci členů. U kterých se kavitace vyskytuje. Kavitace je způsobena poklesem tlaku pod bod nasycených par v kapalině. Důležití činitelé vzniku kavitace jsou obsah plynů v kapalině, teploty a tlakové poměry, viskozita kapaliny a její povrchové napětí.

Kavitace vzniká v oblasti vyššího tlaku, kde kavitační bubliny implodují a zanikají. Tím vzniká hydrodynamický ráz, který vede k poškození povrchu materiálu. Často se objevuje v hydraulických systémech, redukčních ventilech a tlakově mazaných ložiscích.



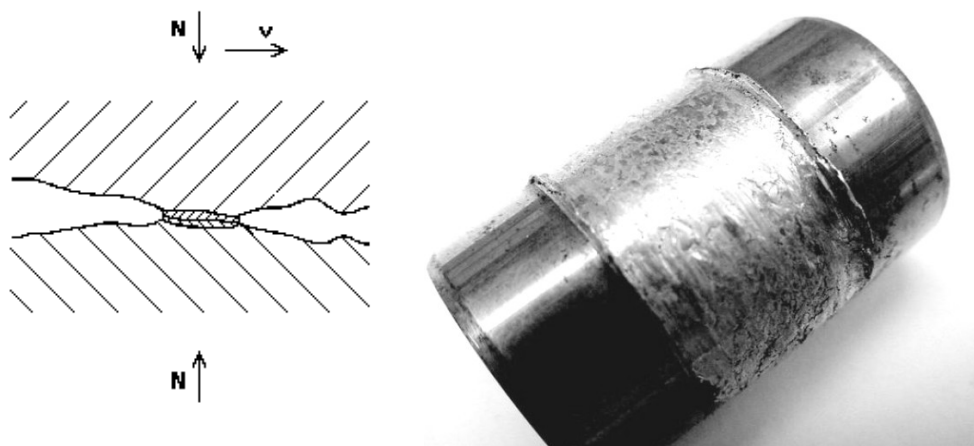
Obr. 12 Mechanismus kavitačního opotřebení a jeho působení na píst spalovacího motoru. [10]

### **Adheze:**

Tento jev opět není způsoben nečistotami, ale je opět jejich generátorem.

K adhezi dochází při smýkání dvou tuhých těles po sobě. Následkem toho se horní vrstvy materiálu dotýkají a vznikají na povrchu mikrosvary, které jsou následně rozrušovány dalším pohybem součásti. Rozrušením těchto mikrospojů dochází k vytrhávání materiálu.

Hlavní činitele adhezivního opotřebení je hloubka vniknutí a poloměr zakřivení mironerovností, rychlost pohyby a velikost zatížení a schopnost materiálu vytvářet adhezivní spojení.



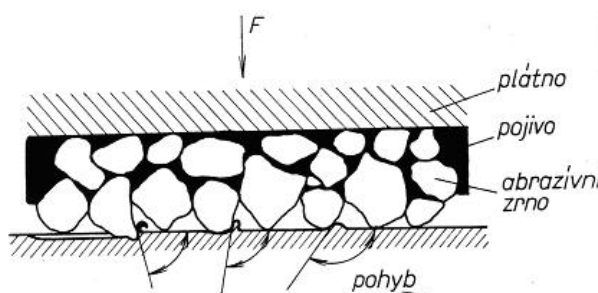
Obr. 13 Mechanismus adhezivního působení a jeho ukázka na čepu. [10]

### **Efekt „smirkového papíru“:**

Postupným ochlazováním oleje, dochází k navazování tvrdých a měkkých nečistot na kovový povrch součástí tomuto jevu se říká efekt „smirkového papíru“.

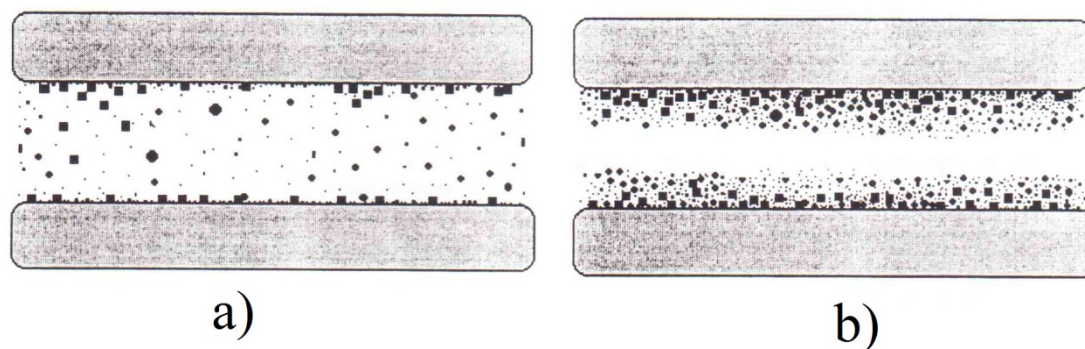
Jeho příčinou jsou oxidační produkty olejů což je pryskyřičná hmota, která se pojí jak chemicky, tak fyzikálně s kovovými plochami. Tato pryskyřičná hmota působí jako pojivo a zadržuje pevné nečistoty. Tímto ulpíváním, vzniká hrubý povrch. Čímž se zvyšuje koeficient tření na kluzných plochách a toto zvýšení tření se nazývá „smirkopapírový efekt“. Což při opětovném spuštění stroje zapříčiňuje opotřebení kluzných dvojic a tím i akumulaci nových nečistot. Pryskyřice ale také ucpává vestavěné filtry a zalepuje hydraulické ventily.

Pryskyřičná hmota je v oleji téměř nerozpustná a její rozpustnost závisí na hlavně na teplotě. Čili se vzrůstající teplotou se pryskyřice v oleji rozpouští.



Obr. 14 Ukázka přímého působení „smirkopapírového efektu“. [3]





Obr 15 a) Běžný provoz

b) 10-15 hodin po odstavení stroje vzniká „smirkopapírový efekt" [18]

### 1.3.3 Působení nečistot a jejich velikost

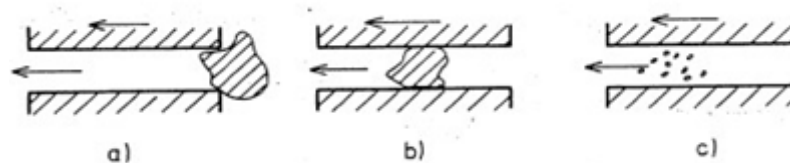
Znečištění:

Působení:

Účinky:

Nejjemnější – částice  2 – 5 $\mu\text{m}$	Zkracování funkce a snižování výkonu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jemná usazenina v úzkých mezerách</li> <li>- Eroze nejjemnějších částic</li> <li>- Stárnutí pracovní kapaliny</li> </ul>
Jemné – částice  5 – 15 $\mu\text{m}$	Opotřebení otěrem převážně u malých tolerancí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zvýšení vůlí otěrem (zvýšení vnitřních průsaků)</li> <li>- Časový výpadek vlivem krátkodobých sevření pístků nebo netěsnostmi na sedlech ventilů</li> </ul>
Hrubé – částice  > 20 $\mu\text{m}$	Porucha hydraulických prvků blokováním správné funkce	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zanášení clon</li> <li>- Sevření pístků</li> <li>- Poruchy materiálu (prvků, těsnění)</li> </ul>

Tab. 4 Působení nečistot na hydraulické prvky podle velikosti nečistot. [4]



Obr. 17 Vliv relativní velikosti částic. [8]

Na obrázku 17 je vidět neprůchodná velikost částice (situace a). Jako kritická se označuje ta velikost částic, při které je průměr částice shodný s velikostí kritické vůle mezi pohybujícími se částmi hydraulického prvku (situace b). Dochází k abrazivnímu působení částic. Vzniká nejvíce otěru a nečistot. Mají-li částice mnohem menší průměr než je kritický (situace c), jedná se o erozivní opotřebení, které se projevuje zvláště v místech s vysokou rychlostí proudění kapaliny. [8]

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce je nashromáždění potřebných podkladů pro vypracování metodiky měření účinnosti filtračních vložek a obsažení používaných norem. Popis nečistot a jejich účinky na hydraulický obvod. Dále pak vyhodnotit účinnost filtračních vložek poskytnutých firmou Filtration Technology *s.r.o.* pro hydraulickou kapalinu OH-HM 46.

### 3 Metody hodnocení účinnosti filtračních elementů

#### 3.1 Výpočet filtrační účinnosti a filtračního koeficientu

Počet částic velikosti  $x$  je před vstupem do filtru větší, než za filtrem. Poměr počtu částic za filtrem a před ním. Při stejné diferenci tlaku v témže okamžiku. Tak získáme hodnotu  $\beta_x$  pro velikost částic  $x$ . [7]

Metoda hodnocení účinnosti filtračních elementů založena na porovnávání vybrané třídy a velikosti vstupních a výstupních nečistot. Pro posouzení úrovně filtrace se používají dva pojmy - filtrační účinnost  $\eta_x$  a filtrační koeficient  $\beta_x$ . [2]

$$\eta_x = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \cdot 100 = [\%] \quad (1)$$

$$\beta_x = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{1 - \eta_x} \quad (2)$$

Kde:  $N_1$  je počet vstupních nečistot před filtrací

$N_2$  je počet výstupních nečistot po filtraci

Filtrační koeficient $\beta_x$	Filtrační účinnost $\eta_x$
1	0%
1,5	33,33%
2	50,00%
5	80,00%
10	90,00%
20	95,00%
50	98,0%
75	98,76%
100	99,00%
200	99,50%
1000	99,90%

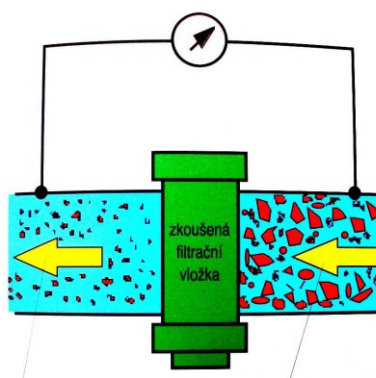
Tab. 5 Souvislost filtrační účinnosti a filtračního koeficientu. [2]

**Srovnávací hodnota  $\beta_x$ :**

Tato srovnávací hodnota se zjišťuje pomocí Multi-pass-testu. Při tomto testu se měří tlak za i před filtrační vložkou. Filtrační vložkou zachycené nečistoty zůstávají v hydraulickém systému. Hodnota  $\beta_x$  je vztažena na velikost částic  $x$  a větší nečistoty. Při jakékoli změně tlaku se mění i hodnota  $\beta_x$ .

**Určení srovnávací hodnoty  $\beta_x$ :**

Je porovnání počtu částic o velikosti  $x$  před a za filtrační vložkou. Při porovnání částic ze vzorku před a za filtrem ve stejném čase a za stejného tlaku získáme hodnotu  $\beta_x$  pro velikost částic  $x$ . Protože různí výrobci mají vlastní hodnocení pro jemnost filtrace, byla stanovena srovnávací hodnota  $\beta_x$  jako nezávislý ukazatel účinnosti filtrace.



Obr. 18 Určení srovnávací hodnoty  $\beta_x$  před a za filtrem. [6]

**3.2 Určování účinnosti filtrace****Filtrační výkon dle DIN ISO 4572:**

Pomocí této zkoušky se stanoví jímavost filtrační vložky, kapacita a absorpční chování. Tato mezinárodní zkouška umožňuje srovnávání výsledků jemnosti filtrace od různých výrobců.

**Multi-pass-Test:**

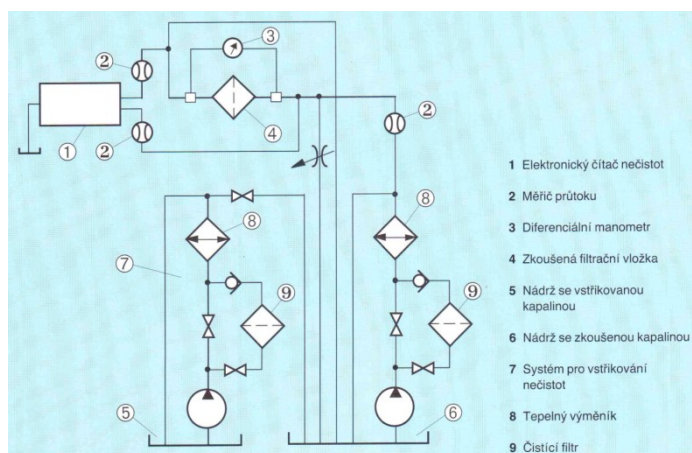
Jsou to dva hydraulické systémy, přičemž jeden je testovací a druhý slouží pro vstřikování nečistot do obvodu.

Testovací systém je složen z nádrže, hydrogenerátoru, chladiče, ohříváče, filtru se zkušební vložkou, průtokoměru a elektronickým čítačem částic (nečistot).

Systém pro vstřikování nečistot je sestaven z hydrogenerátoru, nádrže, ohříváče, chladiče, vstřikovací trysky a vstřikovací kapaliny. V nádobě je předepsaná testovací kapalina (ACFTD) znečištěna podle příslušného předpisu. Před zahájením zkoušky jsou kapaliny obou systému dokonale přefiltrovány velmi jemnými filtry.

Provedení testu je následné. Zkušební filtrační vložkou protéká konstantní proud kapaliny, do které bylo vstřikovacím zařízením vpraveno jisté množství nečistot, pro definované znečištění. Při testu se odebírají vzorky před a za filtrem. Počet nečistot se určuje elektronickým čítačem částic. Současně s odběrem vzorku je měřen tlak před a za vložkou. Jemnost filtrace je určena srovnávací hodnotou  $\beta_x$ . Přičemž velikost částic se označuje  $x$ .

Nečistoty, které nejsou zachyceny filtrační vložkou, zůstávají v systému. Tímto způsobem jsou simulovány podmínky při provozu. Srovnávací hodnota  $\beta_x$  se vztahuje na částice o velikosti  $x$  a na nečistoty větší než tato hodnota. Při změně tlaku se také mění hodnota  $\beta_x$ . [7]



Obr. 19 Zapojení pro Multi-pass-Test. [7]

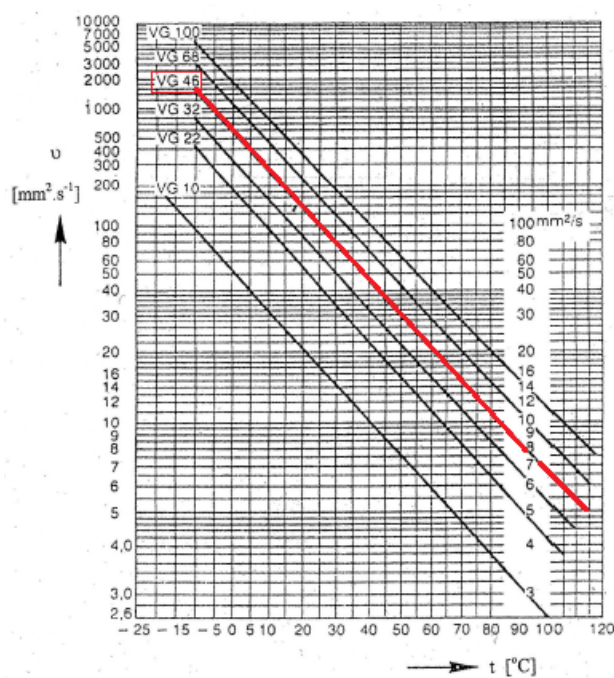
## 4 Volba hydraulické kapaliny a její znečištění

### Volba hydraulického oleje:

Pro filtraci volím olej OH-HM 46 protože podle informací poskytnutých z firmy Filtration Technology s.r.o, se jedná o nejčastěji filtrovanou hydraulickou kapalinu.

### Specifikace:

Hydraulický olej určený jako pracovní kapalina do hydrostatických mechanismů včetně vysokotlakých. Pracujících v celoročním provozu. Tento olej je vyroben z hluboce rafinovaného ropného oleje, díky zlepšujícím přísadám má vynikající antioxidační, antikorozi a proti-otěrové vlastnosti. Olej je vhodný pro vysoké teplotní nároky. Kinematická viskozita oleje při  $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $\nu = 47\text{ mm}^2/\text{s}$  a při  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $\nu = 6,8\text{ mm}^2/\text{s}$ . Hustota oleje při  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $878\text{ kg/m}^3$ .



Obr. 20 Viskozitní křivky pro minerální oleje. [4]

### Znečištění kapaliny:

Pomocí laserových čítačů částic od firmy HIAC a PARKER jsem určil počáteční znečištění hydraulické kapaliny. Zde se již ukázal nedostatek laserového čítače částic od firmy HIAC, kdy čítač částic rozlišoval velikost nečistot až od  $15\text{ }\mu\text{m}$ .

Velikost	2 - 5 $\mu\text{m}$	5 - 15 $\mu\text{m}$	15 - 25 $\mu\text{m}$	25 - 50 $\mu\text{m}$	50 - 100 $\mu\text{m}$	>100 $\mu\text{m}$
Počet	1229393	827493	33593	8257	1065	70
Třída NAS	12	12	10	11	10	9

Tab. 5 Vyhodnocení vstupního znečištění přístrojem PARKER CM20.2021.  
(výsledná třída znečištění je zvýrazněna)

Velikost	2 - 5 $\mu\text{m}$	5 - 15 $\mu\text{m}$	15 - 25 $\mu\text{m}$	25 - 50 $\mu\text{m}$	50 - 100 $\mu\text{m}$	>100 $\mu\text{m}$
Počet		356640	9120	1640	280	180
Třída NAS		11	8	9	8	11

Tab. 6 Vyhodnocení vstupního znečištění přístrojem HIAC PODS.  
(výsledná třída znečištění je zvýrazněna)

#### **Hodnocení čistoty oleje vzhledem k bezpečnosti znečištění:**

Pro vyhodnocování filtrační kapaliny je velmi důležité stanovit si bezpečnou třídu znečištění pracovní kapaliny. Pokud by tato bezpečná hodnota nebyla stanovena. Může se stát, že hydraulické zařízení nebude správně pracovat nebo bude docházet k poruchám.

Třída čistoty dle ISO	Počet částic ve 100ml				Třída čistoty dle NAS	
	Velikost > 5 $\mu\text{m}$		Velikost > 15 $\mu\text{m}$			
	od	do	od	do		
10/07	500	1000	64	130	2	B
11/08	1000	2000	130	250	3	E
12/09	2000	4000	250	500	4	Z
13/08	4000	8000	130	250		P
13/10	4000	8000	500	1000	5	E
14/09	8000	16000	250	500		Č
14/11	8000	16000	1000	2000	6	N
15/09	16000	32000	250	500		Á
15/12	16000	32000	2000	4000	7	
16/12	32000	64000	2000	4000		
16/14	32000	64000	8000	16000	8	
17/12	64000	130000	2000	4000		
17/14	64000	130000	8000	16000	9	
18/12	130000	250000	2000	4000		N
18/15	130000	250000	16000	32000	10	E
19/14	250000	500000	8000	16000		B
19/17	250000	500000	64000	130000	11	E
20/15	500000	1000000	16000	32000		Z
20/17	500000	1000000	64000	130000	12	P
21/17	1000000	2000000	64000	130000		E
21/19	1000000	2000000	250000	500000		Č
22/17	2000000	4000000	64000	130000		N
22/19	2000000	4000000	250000	500000		Á

Obr. 21 Tabulka bezpečného a nebezpečného znečištění. [12]

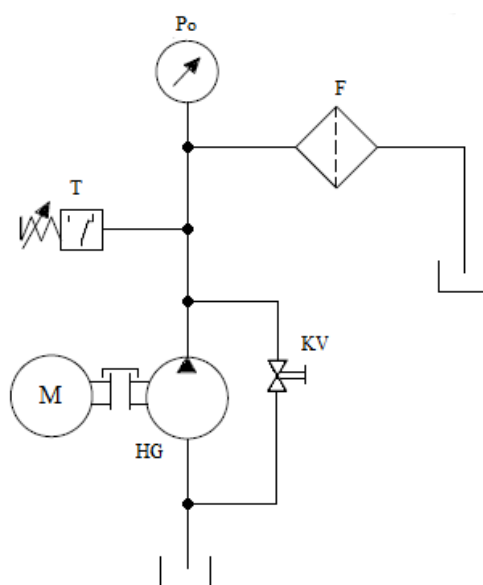


## 5 Návrh a schéma testovacího zařízení

### 5.1 Popis a schéma testovacího zařízení

Toto zařízení bylo navrženo pro testování filtračních vložek a slouží k hloubkové filtraci hydraulických kapalin. Je složeno z elektromotoru, hydrogenerátoru, filtračního tělesa. Ovládací prvek pro nastavení tlaku před filtrační vložkou je použit kulový ventil. Signalizační částí obvodu je manometr, který ukazuje tlak před filtrační vložkou. Dalším prvkem v obvodu je tlakové čidlo, které je nastaveno na tlak 0 – 0,5 MPa po přesáhnutí tohoto tlaku odpojí přívod elektrické energie a činnost zařízení se zastaví. Pracovní tlak se nastavuje pod tlak 0,5 MPa proto, aby nedošlo k protržení nebo jinému poškození filtrační vložky.

Průtok filtrační vložkou je cca  $2 - 4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  (zjištěno testem při výtoku do testovací nádoby s ryskou protože každá z filtračních vložek měla jinou hustotu náviny tudíž i jiný tlakový spád), což zapříčiňuje, že filtrace je pomalá a toto zařízení je navrženo pro přídatnou filtraci. Filtrační vložka také není navržena pro odpadní potrubí hydraulických zařízení, ale je specificky určena pro tento typ zařízení.

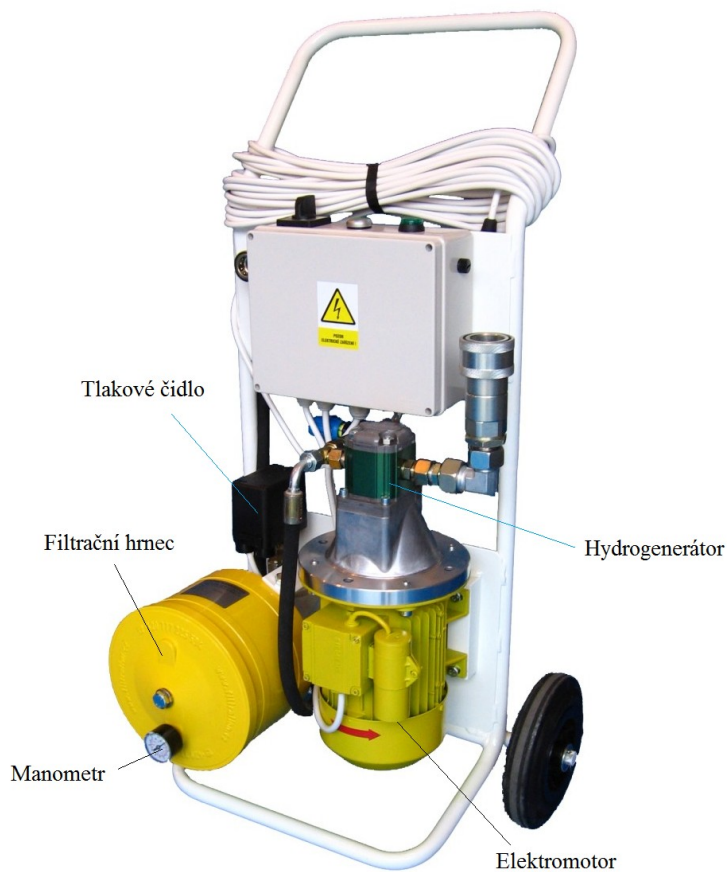


Obr. 22 Schéma filtračního zařízení

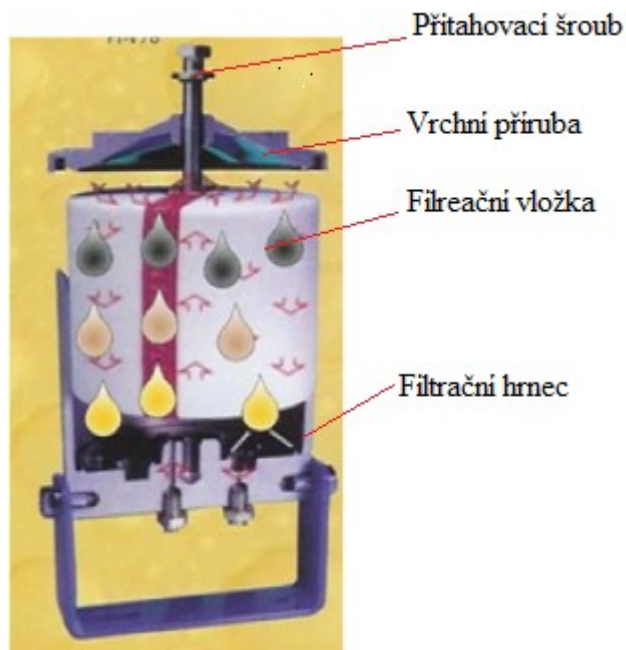
*M – Elektromotor, HG – Hydrogenerátor, KV – Kulový ventil, T – Tlakové čidlo,  
Po – Manometr, F - Filtr*

Specifikace	Typ	Výrobce	Hlavní parametry
Filtr	FT-B88	Filtration Technology	
Motor	IMB35 1LF7083 – 4AA6	SIEMENS	Otáčky $n = 1405 \text{ min}^{-1}$ Výkon $P = 0,75 \text{ kW}$
Hydrogenerátor	1P D 5 GAS	HYDROMA	Průtok $Q_v = 4,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Manometr	G27-10-M5-X201	SMC	Tlak 0 - 1 MPa
Tlakové čidlo	TELEMECANIQUE XMPA12B2131	OTHERS	Max. tlak 0,575 MPa
Kulový ventil	KH-BSPP(S)	PARKER	

Tab. 7 Specifikace filtračního zařízení.



Obr. 23 Popis filtračního zařízení.



Obr. 24 Řez filtrem FT-B88.

## 5.2 Popis měřících přístrojů

Pro mé měření jsem použil dva laserové čítače částic a to od firmy PARKER a HIAC a porovnával jsem výsledky z měření obou těchto přístrojů. Níže jsou specifikovány oba přístroje.

### 5.2.1 Specifikace měřicího přístroje CM20.2021

Automatické čítače částic (dále zmiňované jako AČČ) jsou užívány již mnoho let ke sledování stavu hydraulických kapalin. Jejich spolehlivost se prokázala jak v laboratorním tak i ve výrobním měření. AČČ jsou využívány jak z důvodu spolehlivosti, výrobní kvality tak i pro efektivní údržbu a snížení doby prostojů nebo jejich částečnému odbourání. Flexibilita, rychlost a mobilnost přístrojů AČČ je tak výrazná že zastupují většinu laboratorních přístrojů. AČČ se získává velmi přesný výsledek čistoty zkoumané hydraulické kapaliny. Kód čistoty hydraulické kapaliny se určuje průchodem laseru přes sloupec kapaliny (ve kterém jsou přítomny cizorodé látky) a měří se intenzita paprsku dopadajícího na fotodiodu. Výkon fotodiody se bude lišit podle velikosti a hustotě částic obsažené ve sloupci oleje. Čím větší částice nebo větší hustota částic obsažená ve sloupci kapaliny tím menší bude elektrický výkon fotodiody. Zde se uplatňuje ekvivalentní kruhová plocha, která byla zmíněná výše. Podle této ekvivalentní kruhové plochy se

provede diagnostiku v mikroprocesoru CM20, který je pro tuto diagnostiku speciálně navržen a naprogramován. Toto nám zajistí efektivní a přesné testování hydraulické kapaliny.

**Technické specifikace měřicího přístroje:**

Typ	Laser CM20.2021
Počet kanálů sledovaných velikostí částic	6
Rozsah velikostí částic $\mu\text{m}$	2, 5, 15, 25, 50, 100
Zařazení do třídy čistoty podle	ISO, NAS, SAE
Snímání	kontinuální
Interval	120 sekund
Vnitřní paměť	300 souborů
Integrovaná tiskárna	ano
Klávesnice	alfanumerická
Snímač, tlak do	laserový, 42 MPa
Rozsah viskozity oleje	$10 \dots 100 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
S adaptérem	$10 \dots 500 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Teplota média	$+5 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota okolí	$+5 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$
Napájení	vlastní baterie 12 V, síťový adaptér
Přenos dat	RS 232
Vyhodnocovací software	DAT $\mu\text{m}$
Mechanické komponenty	mosaz, pozlacená ocel, nerezová ocel, hliník

Průtok	až 400 dm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> (systém s 20 senzory)
Technologie LCM20	unikátní optický skenovací systém
	[6]

### **Výhody při použití CM20.2021**

- Šetření času a nákladů při kontrole hydraulických kapalin.
- Kontrolu je možno provádět za normálního běhu stroje bez zbytečných prostojů.
- Záznam je možné mít v tištěné podobě a to i s převodem mezi normami ISO 4406 a NAS 1638.
- Jednoduché ovládání a umožnění vyvolat dřívější měření.
- Zabudovaná interní diagnostika umožňuje spolehlivé a přesné zpracování měření.

### **Opakovatelnost měření**

Laserový čítač částic zajišťuje vysokou opakovatelnost měření a to díky modernímu hardwaru a softwaru.

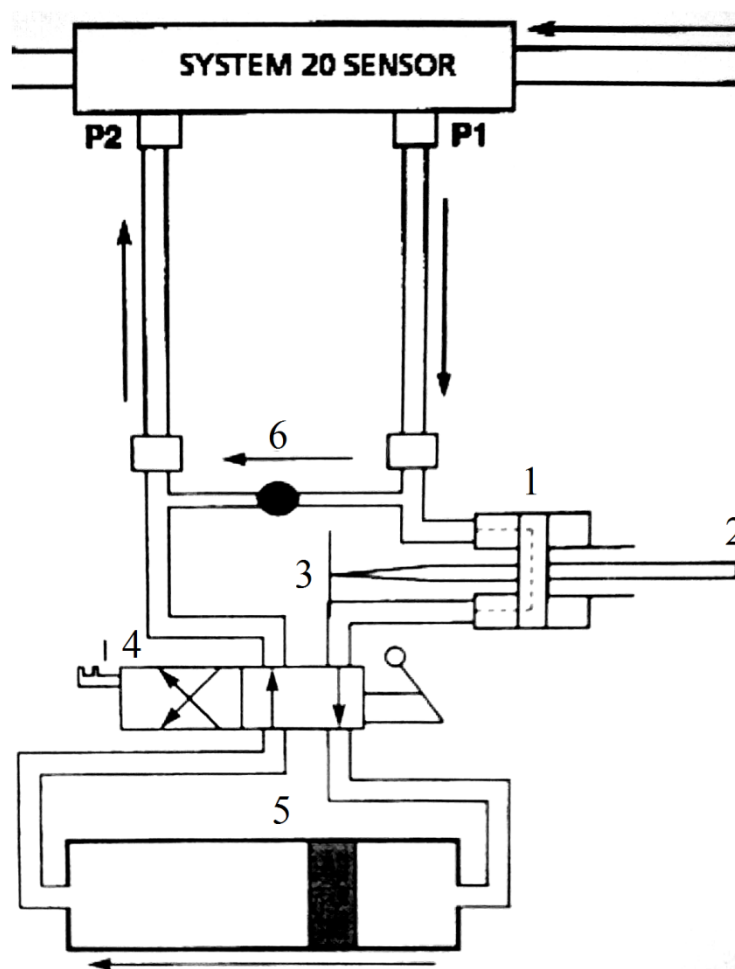
### **Kalibrace**

V rámci přístroje je každý kanál upraven tak, aby určil počet částic dané velikostní třídy. Pracuje přesně podle postupových norem ISO. To zajišťuje kalibrační přesnost.

### **Při vyhodnocování čistoty kapaliny je nutno dodržet tyto podmínky:**

- Předepsaný průtok oleje
- Předepsaná izolace senzorů
- Kontrola viskozity zda je v pracovním rozsahu
- Kalibrace laserového čítače částic CM20.2021 podle doporučení výrobce (Parker)

### Schéma zapojení laserového čítače částic CM20.2021



Obr. 25 schéma obvodu a jeho zapojení. [6]

*1 - blok monitoru, 2 - laserová dioda, 3 - optický scanner, 4 - přepínací ventil,*

*5 - injekční pumpa, 6 - průtočná sonda zařízení*

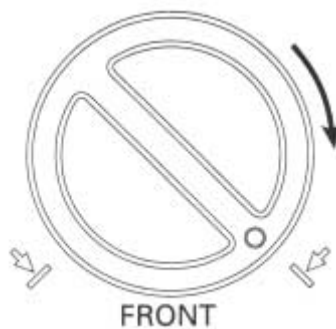
### Popis zařízení

Na obrázku 26. je celkový pohled na měřicí přístroj, současně jsou popsány nejdůležitější části zařízení. Hadice je v zadní části přístroje je připevněna k tělu, čímž je zabráněno volnému pohybu konce hadice. Tak je znemožněno případnému vniknutí nečistot do stroje. Ovládací panel je pro snazší manipulaci odnímatelný a spojený s přístrojem krouceným kabelem.



Obr. 26 Přenosný čítač částic a jeho základní popis. [6]

Modrý otočný spínač slouží ke spuštění měření. Je třeba jím otočit o 90° doprava nebo doleva až na vyznačenou rysku. Aktuální směr otočení je zobrazen v horní části spínače.



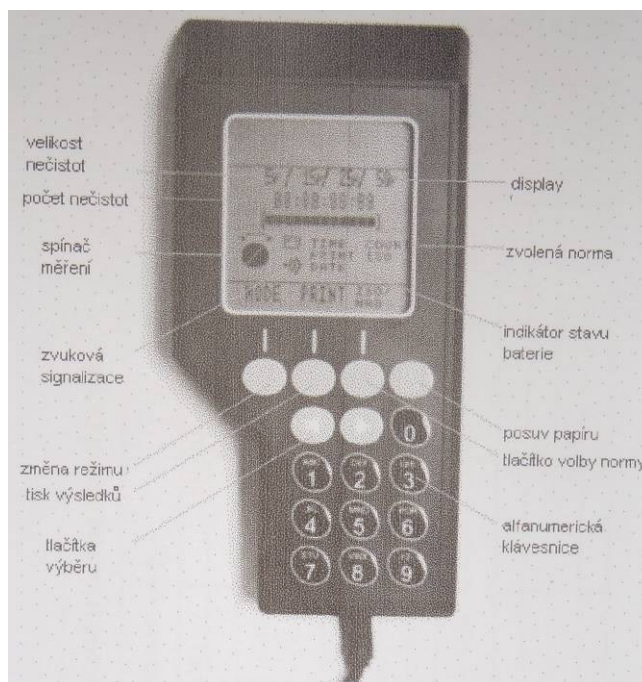
Obr. 27. Otočný spínač.



Obr. 28. Směr otáčení (pohled shora). [6]

Nastavení přístroje a výsledky měření je možno kontrolovat na displeji umístěném na ovládacím panelu. Pomocí integrované tiskárny je možné si výsledky tisknout.

Na obrázku 29. je znázorněn ruční odnímatelný panel s popisem jednotlivých částí. Pro samotné měření jsou nejdůležitější vrchní tlačítka, jejichž pomocí lze volit normu, podle které mají být výsledky zobrazovány, tisk výsledků a další funkce. Alfanaumerická klávesnice (černá tlačítka) slouží k pojmenování měření, nastavení času a data.



Obr. 29 Ovládací panel. [6]

### **Postup při odebírání vzorků**

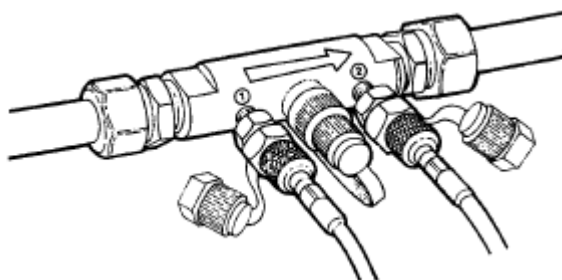
Bez užití odběrového ventilu:

- Spustíme pohonné zařízení, jehož kapalinu chceme testovat po dobu cca 30 minut.
- Po uplynutí dané doby odebereme vzorek cca 0,2 dm<sup>3</sup> kapaliny z poloviny výšky nádrže. Nikdy nesmíme vzorek odebírat u stěny nádrže. Odběr provádíme ruční pumpou nebo jinými způsoby.
- Odebranou kapalinu přelijeme do předem připravené čisté nádoby.
- Nádobku uzavřeme a opatříme popisem.



### **Postup měření**

Pokud je měřen odebraný vzorek oleje, nalijeme jej do kádinky a připravíme dávkovací čerpadlo. Hadici měřicího přístroje CM20 připojíme k čerpadlu – červenou koncovku hadice na červené šroubení čerpadla, žlutou na žlutou. Dotahujeme pouze rukou! Pokud je měřeno znečištění přímo v hydraulickém systému, připojíme hadice na odběrová místa škrtkového ventilu, obr. 30.



Obr. 30 Odběrové místo. [6]

Zapneme čerpadlo a přístroj CM20. Asi minutu necháme kapalinu protékat a následně provedeme kontrolu velikosti průtoku. Na ovládacím panelu stlačíme po dobu  $T = 5$  s modrou šipku doleva. Po  $T = 30$  s přístroj vyhodnotí, zda je průtok dostatečný. Pokud není, je třeba zvýšit průtok nastavením škrtkového ventilu. Pokud je měřen odebraný vzorek, je třeba jej zahřát (pozn. s vyšší teplotou se zmenší viskozita, tím klesne odpor proti proudění, čímž se zvýší průtok). Pokud je průtok dostatečný, je možno přikročit k měření. To se spustí otočením modrého spínače na skříni CM20. Asi po  $T = 120$  s. přístroj zobrazí množství nečistot dle zvolené normy. Tu lze měnit tlačítkem „volby normy“. Naměřené výsledky je možno vytisknout pomocí tlačítka „tisk výsledků“.

Pokud máme pouze vzorky kapaliny v nádobce, dodává se k měřicímu zařízení pumpa a její obsluha je stejná jako návod na zapojení do obvodu.

<pre> ***** UCC LASER CM ON-LINE TEST  TEST NUMBER 004 UNIT 19            D  M  Y Date      16 - 01 - 99 Time      09 - 16 NAS CLASS      11            Count/100ml 2/5µ      2774621 5µ/15µ    364534 NAS CLASS      11 15µ/25µ    6615 NAS CLASS      8 25µ/50µ    1463 NAS CLASS      8 50/100µ    1466 NAS CLASS     11 &gt;100µ      97 NAS CLASS      9  APPROVED  NOTES ***** </pre>	<pre> ***** UCC LASER CM ON-LINE TEST  TEST NUMBER 017 UNIT 19            D  M  Y Date      16 - 01 - 99 Time      11 - 18 ISO:      22 / 20 / 14            Count/100ml &gt;2µ      3642544 &gt;5µ      923519 &gt;15µ     10010 &gt;25µ      451 &gt;50µ      11 &gt;100µ      0  NOTES ***** </pre>
---	--

Obr. 31 Ukázka vytištěných lístků podle normy NAS a ISO.

z přístroje CM20.2021 [6]

### 5.3 Popis měřicího přístroje HIAC PODS

Mezi obsluhou laserového čítače částic HIAC PODS a PARKER CM 20.2021 není velký rozdíl. Jediný rozdíl spočívá v tom, že přístroj HIAC PODS nepotřebuje přidavnou pumpu, ale vzorek oleje vhání do měřidla stlačený vzduch. Má i svoji vlastní testovací nádobu.

Další z rozdílů je ten, že přístroj HIAC PODS nepočítá částice 2-5 µm, ale začíná až od částic velikosti 5-15 µm. Což zkresluje výsledky podávané tímto zařízením.



Obr. 32 Laserový čítač částic HIAC PODS.[11]

## 6 Vyhodnocení třídy čistoty kapaliny a účinnosti filtračních vložek na testovacím zařízení

### 6.1 Popis parametrů a průběhu testu

Před započítím hodnocení filtrované kapaliny bylo nutné překontrolovat dodané filtrační vložky. Hlavně jejich hmotnost, až v průběhu testu bylo zjištěno, že u dodaných filtračních vložek nejsou dodrženy funkční rozměry. Jako je výška a průměr.

#### Parametry filtračních vložek:

Za parametry vložek jsou voleny rozměry (výška, hmotnost) a hmotnost (hustota návinu)

Označení	Váha od dodavatele [kg]	Váha skutečná [kg]*	Průměr [mm]**	Výška [mm]
1	1,088	1,070	184	114
2	1,168	1,138	182	114
3	1,124	1,101	180,5	115
4***	1,144	1,121	182	114
5***	-	0,945	187	115

Tab. 8 Rozměry a hmotnosti filtračních vložek.

\* Hmotnost byla zvážená na váze od firmy CAS typ ER<sup>PLUS</sup> před filtrací.

\*\* Rozměr jsou brány až po nasáknutí hydraulickou kapalinou.

\*\*\* Pro bakalářskou práci jsem vybral tyto dvě vložky.

#### Vstupní parametry:

- Parametry byly voleny podle pokynů firmy Filtration Technology.
- Vstupní tlak: 0,2 MPa
- Teoretický průtok: 2- 4 dm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> (podle propustnosti filtrační vložky)
- Testovaná kapalina: OH-HM 46
- Vzorek kapaliny: 5 x 100 l

- Vstupní znečištění dle normy NAS 1638: 11(HIAC), 12 (PARKER LMC 20).
- Vnitřní rozměry filtračního hrnce:  $\phi 188,7$  mm, výška 115 mm.

#### **Použité měřicí přístroje:**

- Laserový čítač částic: PARKER CM 20.2021, HIAC PODS
- Digitální váha: CAS ER<sup>PLUS</sup>

#### **Průběh testu:**

Test každé vložky probíhal nejméně 18 hodin, což je dostatečná doba pro vyvození filtrační účinnosti poskytnutých filtračních vložek. Po každém testu bylo testovací zařízení propláchnuto a vyčištěno. Při vkládání, každé vložky, bylo dbáno na správné usazení filtračního elementu.

Po zapnutí testovacího zařízení, byl vstupní tlak nastaven na hodnotu 2 bar a při každém odběru, byla jeho hodnota kontrolována. Popřípadě, byla provedena úprava, tak aby hodnota tlaku odpovídala vstupnímu tlaku 2 bar.

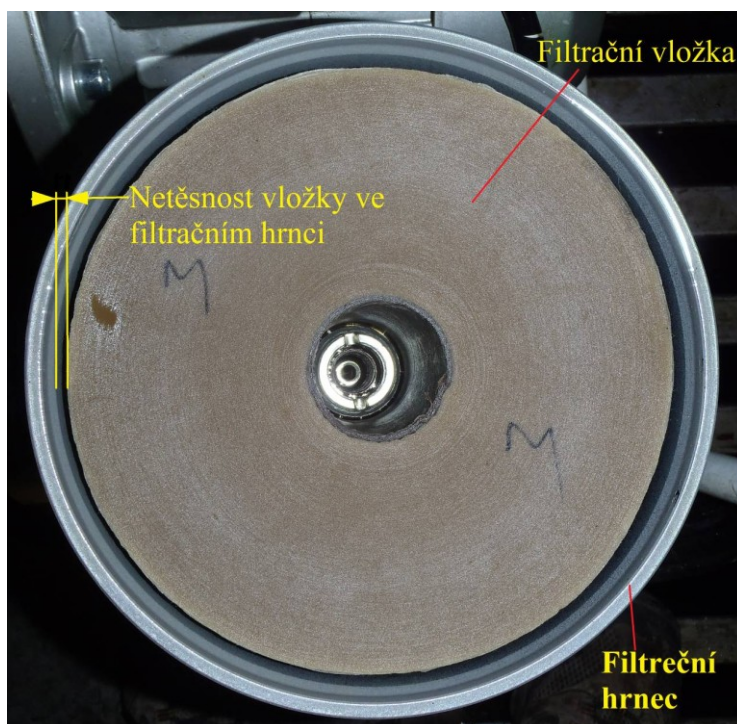
Vzorky byly odebírány do plastových vzorkovnic o objemu 250 ml. Přičemž byl vzorek odebírán, jak ze sudu, tak z výtoku hadice v rozestupech 30 min, 1, 2, 4, 8, 12 a 24 hodin (u prvního měření byla doba testování zkrácena na 18 hodin a u druhého na 22 hodin)

Vyhodnocení vzorků probíhalo na laserovém čítači částic od firmy PARKER a HIAC. Dále pak ručním vyhodnocením každého vzorku, kdy byly výsledky porovnávány s tabulkou nečistot pro normu NAS 1638. Norma NAS1638 byla zvolena pro její jednoduché vyhodnocování a vkládání do grafu na rozdíl od normy ISO 4406, která ve výsledném vyhodnocení obsahuje 3 číselné hodnoty.



Obr. 33. Zařízení při filtraci vstup i výstup je vložen do sudu.

Pro posouzení úrovně filtrace se používají dva pojmy - filtrační účinnost  $\eta_x$  a filtrační koeficient  $\beta_x$ . K vypracování této práce jsem pro srozumitelnost použil filtrační účinnost  $\eta_x$ , která se dá snadno převést na filtrační koeficient  $\beta_x$ . Tabulka pro převod neuvedena na straně 22.



Obr. 34 Vložka ve filtračním hrnci s ukázkou netěsnosti.

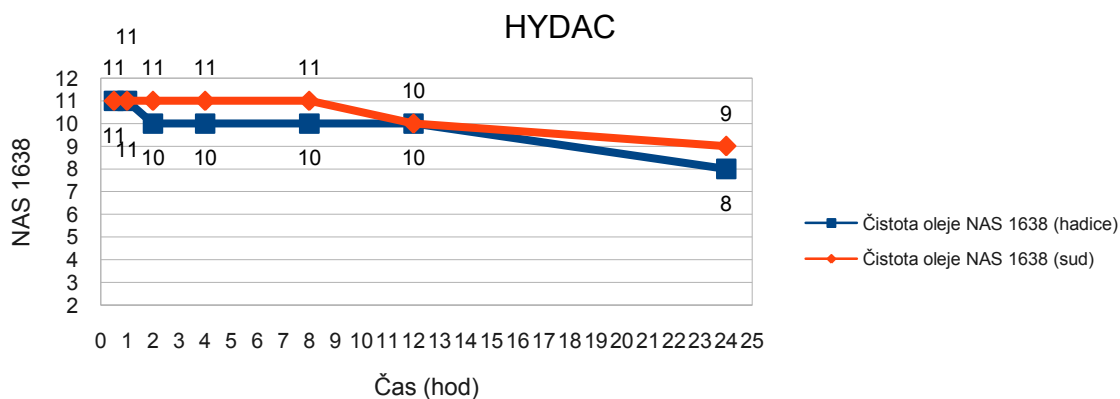
## 6.2 Vyhodnocení výsledků

### 6.2.1 Test vložky 4. (1121 g)

#### HIAC:

Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (sud)
0,5	11	11
1	11	11
2	10	11
4	10	11
8	10	10
12	10	10
24	8	9

Tab. 9 Naměřené hodnoty přístrojem HIAC pro vložku 4.

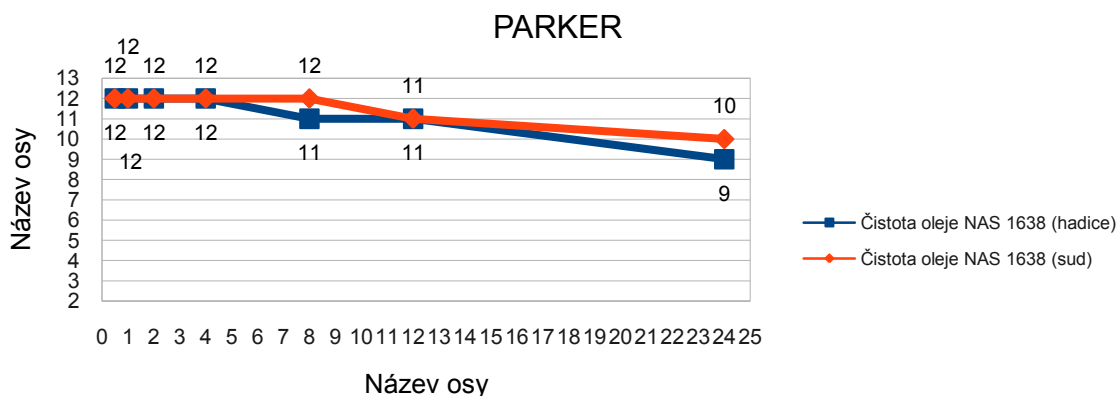


Obr. 35 Průběh měření čistoty oleje u vložky 4 přístrojem HIAC.

#### PARKER:

Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (sud)
0,5	12	12
1	12	12
2	12	12
4	12	12
8	11	12
12	11	11
24	9	10

Tab. 10 Naměřené hodnoty přístrojem PARKER pro vložku 4.



Obr. 36 Průběh měření čistoty oleje u vložky 4 přístrojem PARKER.

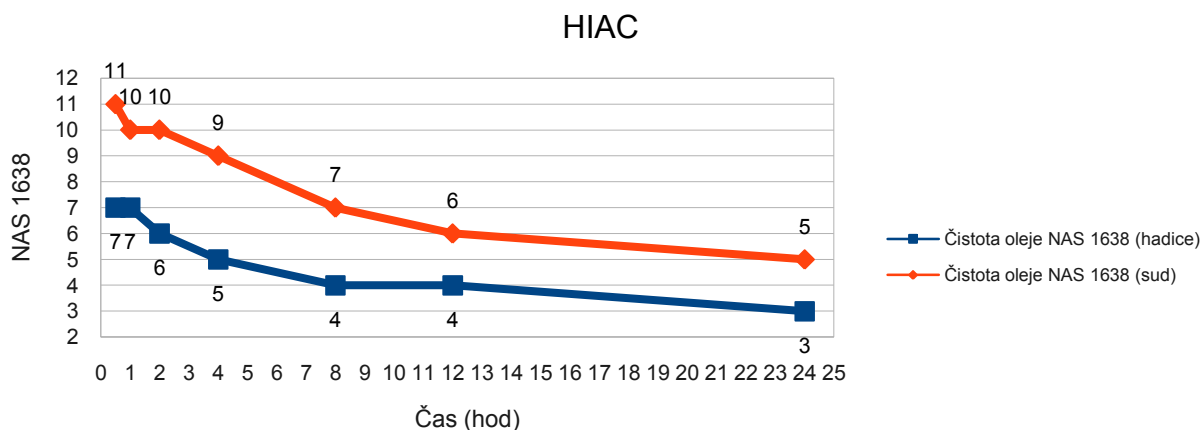
**Závěr pro vložku 4**

Tato filtrační vložka vykazovala nejhorší filtraci. Zřejmě z důvodu netěsnosti ve filtračním hrnci. Tato netěsnost způsobila obtok filtrační vložky a tím i malou účinnost při filtraci.

**6.2.2 Test vložky 5. (945 g)****HIAC:**

Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (sud)
0,5	7	11
1	7	10
2	6	10
4	5	9
8	4	7
12	4	6
24	3	5

Tab. 11 Naměřené hodnoty přístrojem HIAC pro vložku 5.

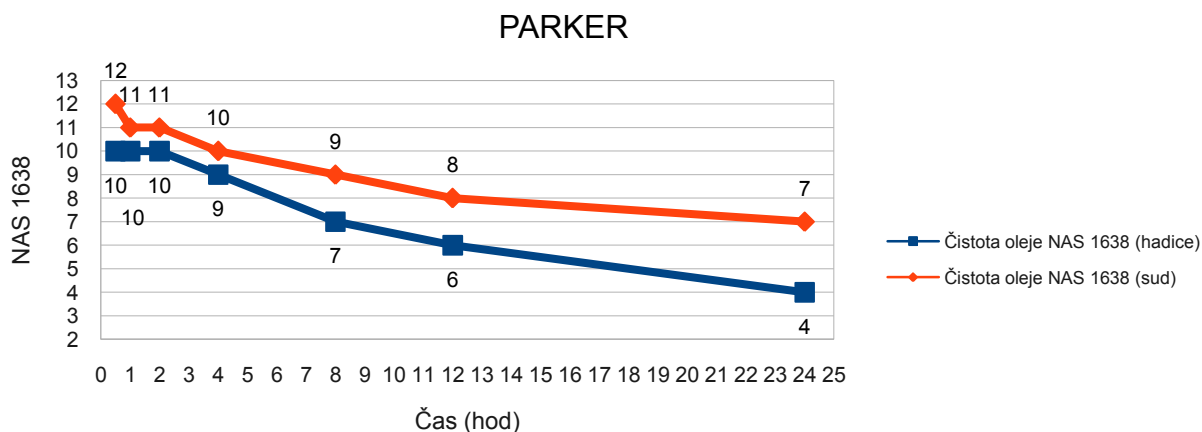


Obr. 37 Průběh měření čistoty oleje u vložky 5 přístrojem HIAC.

**PARKER:**

Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638(hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (sud)
0,5	10	12
1	10	11
2	10	11
4	9	10
8	7	9
12	6	8
24	4	7

Tab. 12 Naměřené hodnoty přístrojem PARKER pro vložku 5.



Obr. 38 Průběh měření čistoty oleje u vložky 5 přístrojem PARKER.

**Závěr pro vložku 5**

Tato filtrační vložka vykazovala nejlepší filtraci. Její těsnost ve filtračním hrnci byla velmi dobrá a po nasáknutí hydraulickou kapalinou vyplnila vkládací vůle. Těsnost této



vložky zajistila velmi dobrou filtraci kapaliny jak je viděl na grafech. Rozdíl mezi konečnými hodnotami v sudu jsou zřejmě způsobeny přístrojem HIAC PODS, který nezaznamenává velikosti nečistot 2 – 5  $\mu\text{m}$ .

### 6.2.3 Výpočet účinnosti:

Filtrační účinnost se značí  $\eta_x$  a její výpočet udává v procentech účinnost filtrace námi zvolené velikosti nečistot  $x$ . Výsledná účinnost je zkreslená protože zvolené vzorky nedosáhnou nikdy homogenity, to znamená, že nikdy nebudou dva výsledky měření prostě stejné.

$$\eta_x = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \cdot 100 = \frac{4229366 - 9160}{4229366} \cdot 100 = 99,78 \%$$

#### HIAC:

HYDAC		Vzorky posledního měření o velikosti (5-15) $\mu\text{m}$	
Vzorky	počet vstupních nečistot (první odběr sud) $N_1$	počet výstupních nečistot (poslední odběr hadice) $N_2$	filtrační účinnost
1	4229366	9160	99,78%
2	4229366	8880	99,79%
3	4229366	16900	99,60%
4	4229366	50400	98,81%
5	4229366	2020	99,95%

Tab. 13 Výpočet účinnosti pro filtrační vložky z dat z přístroje HIAC.

#### PARKER:

PARKER LMC20		Vzorky posledního měření o velikosti (5-15) mm	
vzorky	počet vstupních nečistot (první odběr sud) $N_1$	počet výstupních nečistot (poslední odběr hadice) $N_2$	filtrační účinnost
1	843708	9221	98,91%
2	843708	15050	98,22%
3	843708	24064	97,15%
4	843708	109470	87,03%
5	843708	3364	99,60%

Tab. 14 Výpočet účinnosti pro filtrační vložky z dat z přístroje PARKER.

### **Závěr**

Takto navržená metodika určování účinnosti filtrační vložky se zdá být dobrá, pro vyhodnocování účinností filtračních vložek. I když většina vložek má účinnost nad 95%, jejich výsledný výstup z hadice měl většinou poměrně velký počet sledovaných nečistot a tím i nevyhovující filtraci (popřípadě na hranici). Dovolného znečištění dle obrázku 21 na straně 25.

Výsledky získané z měření byly vyhodnoceny a překontrolovány. Firma Filtration Technology s.r.o. podle těchto výsledků uváží nákup nových filtračních vložek.

## 7 Závěr

Tato práce je zaměřena na vyhodnocení účinnosti filtračních vložek. V této práci bylo provedeno seznámení s postupem stanovení třídy znečištění kapaliny (kód čistoty), seznámení s laserovými čítači. Nečistotami obsaženými v hydraulických obvodech a jejich účinky na části obvodu.

V úvodu této práce je popsáno určování znečištění kapaliny a různé způsoby jejich určení kódu čistoty. Dále jsou popsány negativní účinky nečistot a jejich škodlivost v hydraulických obvodech. Následkem čehož je degradace hydraulických obvodů a zařízení, prostoje zařízení a s nimi spojené opravy. Přiblíženy byly i způsoby vyhodnocování čistoty kapaliny dle norem ISO 4406, NAS 1638 a byly zmíněny i další normy hodnocení.

V další části byly popsány způsoby testů filtračních vložek. Takzvaný Multy-pass-test a navržen testovací stroj pro vlastní měření. Byly popsány laserové čítače částic CM20.2021, PODS od firem PARKER a HIAC. Zmíněny byly technické parametry zařízení, jejich popis a postup odebírání vzorků. Jako testovaná kapalina byl zvolen olej OH-HM 46 a byl testován podle normy NAS 1638 na obou strojích. Výsledek tohoto počátečního měření byl u přístroje od firmy PARKER hodnotu 12 a u zařízení Firmy HIAC hodnotu 11.

Rozdílná počáteční čistota je způsobena zastaralostí laserového čítače částic od firmy HIAC, kdy tento přístroj nezaznamenával nečistoty od 2-5  $\mu\text{m}$  na rozdíl od přístroje firmy PARKER.

Dle vstupních netěsností poskytnutých vložek jsem došel k názoru, že filtrace nebude mít takovou účinnost. Jako při minimálních vkládacích vůlích. Tato domněnka byla následně potvrzena měřením a z měření vyplývajícími grafy.

Po stránce účinnosti kdy vstupní hodnotu nečistot přejímám z počátečního měření nečistot v sudu a posledního odběru z hadice se zdá, že účinnost filtrace je značně vysoká i přes velké vkládací vůle některých filtračních vložek. Bohužel v porovnání s grafy je čistota dle normy NAS 1638 neuspokojivá a pohybuje se v průměru okolo hodnoty 7. Nejúčinnější je tedy filtr č. 5 (940 g).

Filtrační účinnost nezávisí jen na hustotě návinu filtrační vložky, ale i na její těsnosti ve filtračním hrnci. Proto je důležité dodržet rozměry dané spotřebitelem (Filtration Technology s.r.o).

Dále hmotnosti udané výrobcem, byly v rozporu s naváženými hodnotami, při převzetí filtračních vložek. Tato chyba je zřejmě způsobena přepočtem váhy u výrobce, kdy nezhodil výslednou filtrační vložku, ale přepočtl váhu použitého filtračního papíru na 1 m<sup>2</sup> a vynásobil hrubým odhadem m<sup>2</sup> papíru na filtrační vložce.

Zbylá měření jsou zahrnuta v příloze na CD.

## Seznam použité literatury

- [1] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [2] ARGO- HYTOS s.r.o.: *Čistota hydraulických kapalin* [online]. [cit. 2011-12-23]. <<http://www.argohytos.com/cz/>>
- [4] PAVLOK, B.; SIVÁK, V. *Hydraulické systémy v provozní praxi*. Ostrava: VŠB Ostrava+BIC Ostrava, 2000. 95s. (Skripta pro specializační kurz).
- [6] PARKER HANNIFIN. *Manuál k obsluze čítače nečistot Laser CM20*. 2021.
- [7] MANNESMANN REXROTH. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Příručka hydrauliky Svazek 3. 1988. 362 s. ISBN 3-8023-02664.
- [8] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. 160 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [13] SCHMITT, A. a kolektiv. *Příručka hydrauliky*. Svazek 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1981. 226 s. ISBN 3-8023-0619-8.
- [14] FINDEISEN, D. ; FINDEISEN, F. . *Olhydraulik* Berlin – Heidelberg - New York : Springer Verlag, 1994. 765 s. ISBN 3-540-54465-8.
- [15] PAVLOK, B.; SIVÁK, V. *Provoz a údržba hydraulických mechanismů*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1989. 93 s.

## Internetové zdroje

- [3] TRIBOLOGIA: *Archiv časopis Tribotechnika: Tribotechnika 2/2009,1/2010* [online]. [cit.2011-11-23]. <http://www.tribotechnika.sk>
- [5] TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE, časopis, číslo 2/2010 [online]. [cit.2011-11-23]. <http://www.tribotechnika.cz>
- [9] TRIBOTECHNIKA: *Archiv časopis Tribotechnické informace* [online]. <<http://www.tribotechnika.cz>>

- [10] *Degradace strojních součástí* [online]. [cit. 2012-2-16]. Dostupné na WWW: <<http://degradace.tf.czu.cz>>.
- [11] HYDAC – spol. s r.o.: *Brochures: Particle Measurement Technology in Practice* [online]. [cit. 2012-1-14]. <<http://www.hydac>>
- [12] *Filtrace olejů* [online]. [cit. 2012-2-18]. Dostupné na WWW: <<http://www.omacz.cz>>.
- [16] MAHLE INDUSTRIAL FILTRATION: *Mahle performance* [online]. [cit. 2012 – 04 - 13]. <http://www.performance.mahle.com>
- [17] PARKER HANNIFIN. *Hydraulic filtration and contamination control* [online]. [cit. 2012 – 04 - 13]. <<http://www.parkerhfde.com>>
- [18] KLEENTEK. *Odstraňování nečistot z olejů* [online]. [cit. 2012 – 05 - 10]. <<http://www.kleentek.cz>>

## Seznam příloh

Příloha 1. CD se zbylými výsledky měření.

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli k vypracování mé bakalářské práce.